力と運動

―目で見た力学―

岩波写眞文庫　28

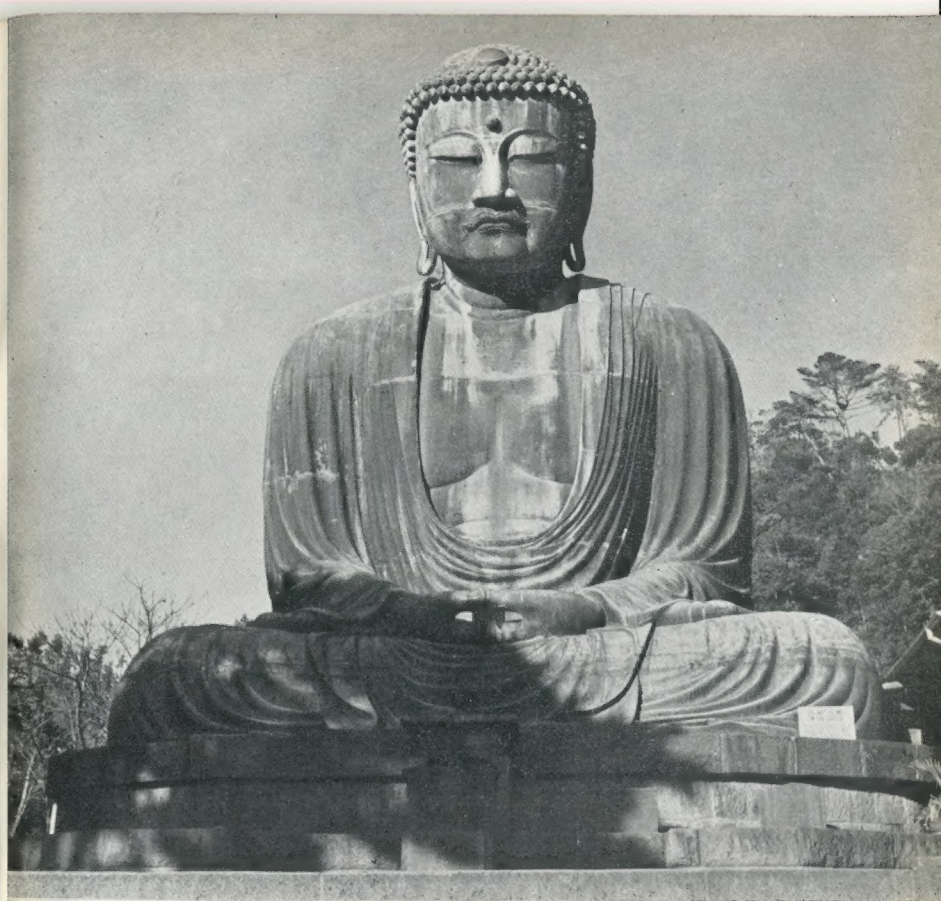
岩波写眞文庫 28 力と運動 —目で見た力学—

編 集 岩波書店編集部
監 修 坪 井 忠 二
写 眞 岩波映画製作所

↑ 力と加速度との釣合い.

→ 力と力とのあらそい.

目 次

定価100円 1951年 6月10日 第1刷発行 1956年 3月15日 第5刷発行 発行者 岩波雄二郎 印刷者 米屋勇 印刷所 東京都港区芝浦2ノ1 半七写真印刷工業株式会社 製本所 永井製本所 発行所 東京都千代田区神田一ッ橋2ノ3 株式会社岩波書店

はじめに

静と動、動と静、これがわれわれの周囲をとりまく力学的世界をつくっている。「虞美人草」のなかで、「動かばこそといった様な按排じゃないか」とは、宗近さんが叡山を評した言葉である。これに対して甲野さんは、「動かばこそというのは、動けるのに動かない時のことをいうのだろう」と辛辣な揶揄をとばしているがよく動と静の消息を傳えていると思う。静は静をつづけ、動は動をつづけようとするというのが、力学でいう**慣性**であり、静を動に、動を静に移そうとするのが、力学でいう**力**である。この慣性と力との交錯が、森羅万象の姿である。大佛は鎮座して動こうともしない。しかし動かないということは、かならずしも力が全然はたらいていないということではない。地球の引力をはじめとして、風の力、はなはだしきは遠くの星の引力まで働いている。それらすべてが集まって、地面から受ける抗力と相殺して静を保っているのである。

地球は、山をのせ、家をのせ、人をのせたまま、絶えまなく西から東に向かって回転している。山は動かないというけれども、それは地球に対してのことであって、地球自体は回転しながら、太陽のまわりを公転しているのである。その運動はじつに規則正しく、われわれが暦の基礎をこの運動においている所以もここにあるのである。地球上に於ける運動には、多かれ少かれ、かならず何等かの邪魔が入っている。われわれが力学に於て運動の法則を論ずるときその純粋の形を地球上で見ることはほとんど不可能であって、理想的な場合にはこうなるであろうというに過ぎない。しかしながら、天体の運動においてはそれはいわば現実である。自転も公転も、数学的な精密さをもって行われているのであって、天体の運行に関するケプレルの観察をもとにして、ニュートン力学の不滅の殿堂が打ち建てられたのも、当然である。月は大きな弧を描いて、東から出て西に沒し、満天の星は北極星を中心にして円を描いている。

物体の運動に変化を与えようとするときには力が必要である。重い物体に速度の急変を与えるためには、大きい力が必要であるが、軽い物体にゆっくりした変化を与えるためには小さい力でも充分にこと足りる。どのくらいのものにどのくらいの速度変化を与えることができるかということが、力の大小を定める尺度になることは後に述べるが、その関係を悉知するのでなければ、調和のとれた機械をつくり、またそれをはたらかすことはできない。あらゆる機械というものには、少しの無理もあってはならないと同時に、余計な無駄があることも望ましくない。各々の部分がその分に応じた役目を果すようになったとき、はじめて機械は全体としてその威力を発揮するにいたるのである。埠頭にある大きな石炭クレーンといえども、これを分析してみれば、簡単な「テコ」や「滑車」などの組み合わせに過ぎない。テコや滑車の力学がうまく統合されて、一日に何千トンという石炭の荷揚げが休みなく行われているのである。

力と運動との調和ある均衡が破れたとき、思いもよらぬような事故がおこる。しかしその事故すらも、ついに力学の範疇以外のものではない。運動している列車が、その慣性を主張して運動をつづけようとするとき前途の障害もこれを止めることはできなかった。いいかえれば、これだけのものに速度の急変を与えて停止させるだけの力を呈し得なかったのである。この場合、摩擦や回転などいろいろ複雑な現象も関与していたのはもちろんであるけれども、大勢を支配した根本的なものは、やはり運動の慣性であった。これからこの本においては、力と運動との交渉をえがいてみようとする。力学現象はしかしはなはだ多様であって、その全般にわたることは、とうていこの小冊子のよく及ぶべきところではない。摩擦、回転、振動、弾性等に関する現象は割愛した。したがってここに取り扱うのは、主として力のつりあいと慣性を中心としてみた点としての物体の運動——つまり**質点の力学**——に止まっているのである。

「止まっているものはいつまでも止まっていようとする．動いているものはいつまでも同じ方向に同じ速さで動きつづけようとする」これが力学の根本原理の一つであり慣性の法則といわれるものである．床の間の静寂も，銀座の雑踏もそのあらわれに他ならない．しかし地球は南北軸のまわりに自転しながら太陽のまわりを公転しているのだし，その太陽も毎秒 19.5 kmの速さでヴェガ星座の方へ近づきつつあるという．

それゆえ私たちにとって止まっているように見える，動いているように見えるということも相対的なことである．回転している地球の上では，慣性の法則はじつは近似的になり立つにすぎない．私たちはむしろこの法則がなりたつか否かによって，私たちの力学的立場がどんなものかをきめる目安にするのである．この慣性の法則のなりたつ立場を惰性系というが，これからのべるのはおもにこの惰性系における力学である．

コップの上に紙をのせて，その紙の上に貨幣をおく．そして紙を急にはじく．紙と貨幣との間には摩擦があるけれども，貨幣をいっしょにひきずっていくためには不十分であって，静止をつづけようとする慣性をもっている貨幣を残して紙だけがとんでいく．残された貨幣はそれから後は，重力にしたがってコップの底のほうに落ちていく．

ダルマ落としも，静止の慣性を示すよい例である．下から二番目の台を木槌で勢よく叩き出した瞬間には，ダルマは三つの台と共に空中に浮んでいる．それから後は，前の貨幣の場合と同じように重力にしたがい，下に向かって落ちていくだけである．

貨幣の場合でもダルマの場合でも，紙や台を急にたたくことが大切である．もしゆっくり動かせば貨幣もダルマも取り残されないで紙や台と共にひきずられてしまうのはもちろんである．つまり慣性というのは，速さの急変に対し，めだって見える反抗であるといってよい．

球ツキの球は，運動の慣性を示すよい例である，この写真は一定の時間間隔で露出をくりかえして写したものである．球が一つのクッションにあたってから次のクッションにあたるまでの間は，ほとんど等速の直線運動をしていることがわかる．もちろん球と台との間には摩擦があるから厳密に等速運動であるとはいえないけれども，摩擦のない理想的な場合にはそうなるということを想像することはできよう．クッションにあたる度ごとに球の間隔が狭くなるのは，そこで球の速さがおそくなるからである．

←

雨にぬれた傘をぐるぐるまわすと，水滴はまわりにとび散る．とび散るのは傘の円周にひいた接線の方向である．それは水滴が傘を離れる瞬間に動いていた方向に他ならない．水滴は運動の慣性にしたがってその方向を変えようとしないのである．

←

グラインダーに刃物をあててとぐ時には，きれいな火花がとび散るが，あれもグラインダーの円周にひいた接線の方向である．これも，刃物からでた小さな粉が，運動の慣性にしたがって，グラインダーを離れる瞬間に動いていた方向をもちつづけようとするからである．

電車や汽車が走っていれば，それに乗っている人も荷物も，みな同じ速さで走っている．走っている車の中で物を落してみても，それが空間に取り残され，車だけが走っていくこともないし，車の中でとんでみても，ちゃんともとの場所に落ちる．地面に立ってこの現象を眺めてみれば，動いているものはいつまでも同じ速さで動きつづけようとする運動の慣性のあらわれとみられ，車の中で眺めてみれば車に対して止まっているものは，いつまでも止まっていようとする，静止の慣性のあらわれとみられる．

↑地震の振動を記録する地震計も，簡単にいえばこの慣性を利用したものに他ならない．右のほうに見える黒い筒は錘であり下からバネで支えられている．地震がきて土地が急に振動しはじめて，台がそれといっしょに動き出しても，錘は空間に対して静止の状態を続けようとするから，台と錘との間に相対的運動がおこる．この相対的運動を拡大して針先で記録させる．

←車が急に動きだしたり急に止まったりすると，身体はそれぞれ静止，運動の状態をつづけていようとするのに，足だけは車と同じ行動をとろうとするから，ひじょうに不安定になって，身体は車に相対的に動きだそうとする．一様な速さで動いている時にはそういうことは起らないで，車に対し静止をつづけようとする．

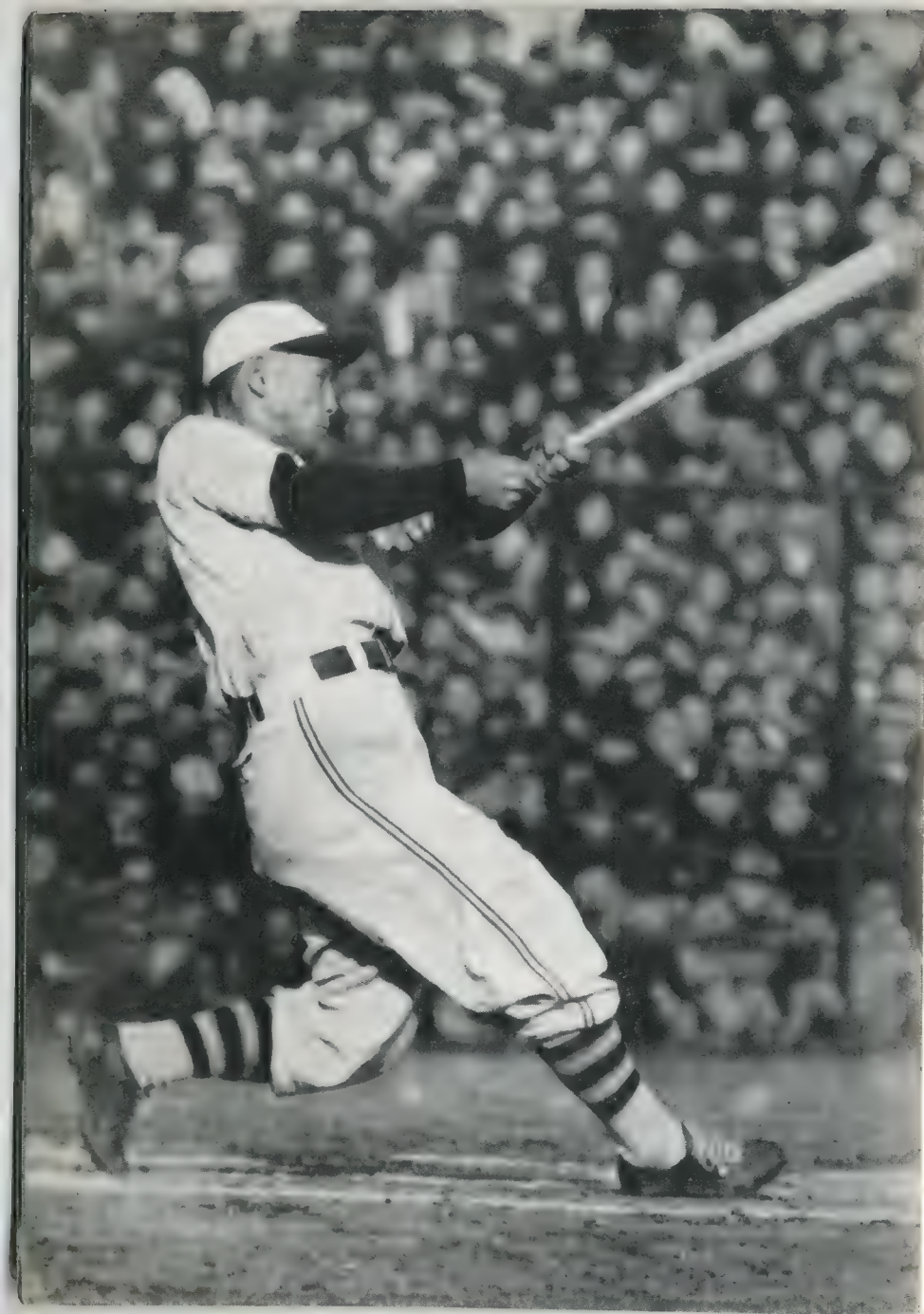
同じ方向に同じ速さで運動をつづけようとする慣性に邪魔が入ったとき，その運動には破綻がおこる．顛倒という現象がおこるのは，こういうときである．ふつうイキオイとか，ハズミとかいう言葉が使われているが，これも運動の慣性を意味している場合があると考えてよかろう．スキーも杖も身体もめいめい慣性を主張するから，とんでもないほうに投げ出されたり，思いもよらないような姿勢になったりするのである．

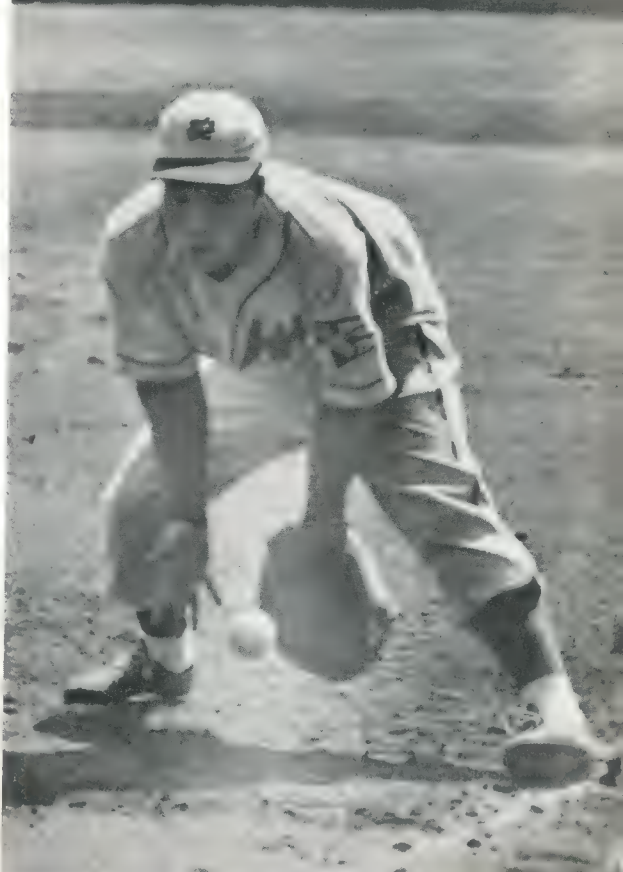
慣性を無視した行動ははなはだ危険である．電車は右から左に向かって走っているのにこの人は右に向かって飛び降りた．足は摩擦によって，地面にふみ止まっているが，身体は慣性によって左に向かって動き続けようとするから，この人は仰向けに倒れて背中を打つより他はないであろう．もしこの場合足と地面との間に摩擦がなかったとしたら，この人は後向きになり，スケートのように，そのまま滑っていったであろう．

力とは何か

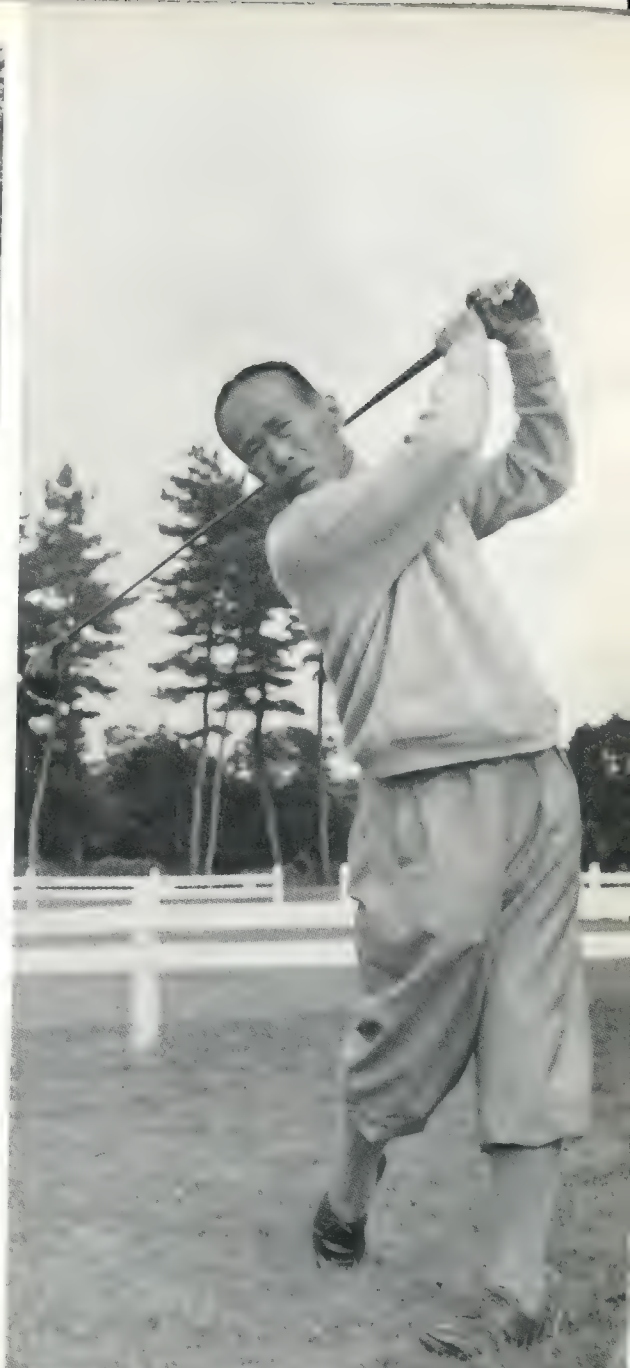
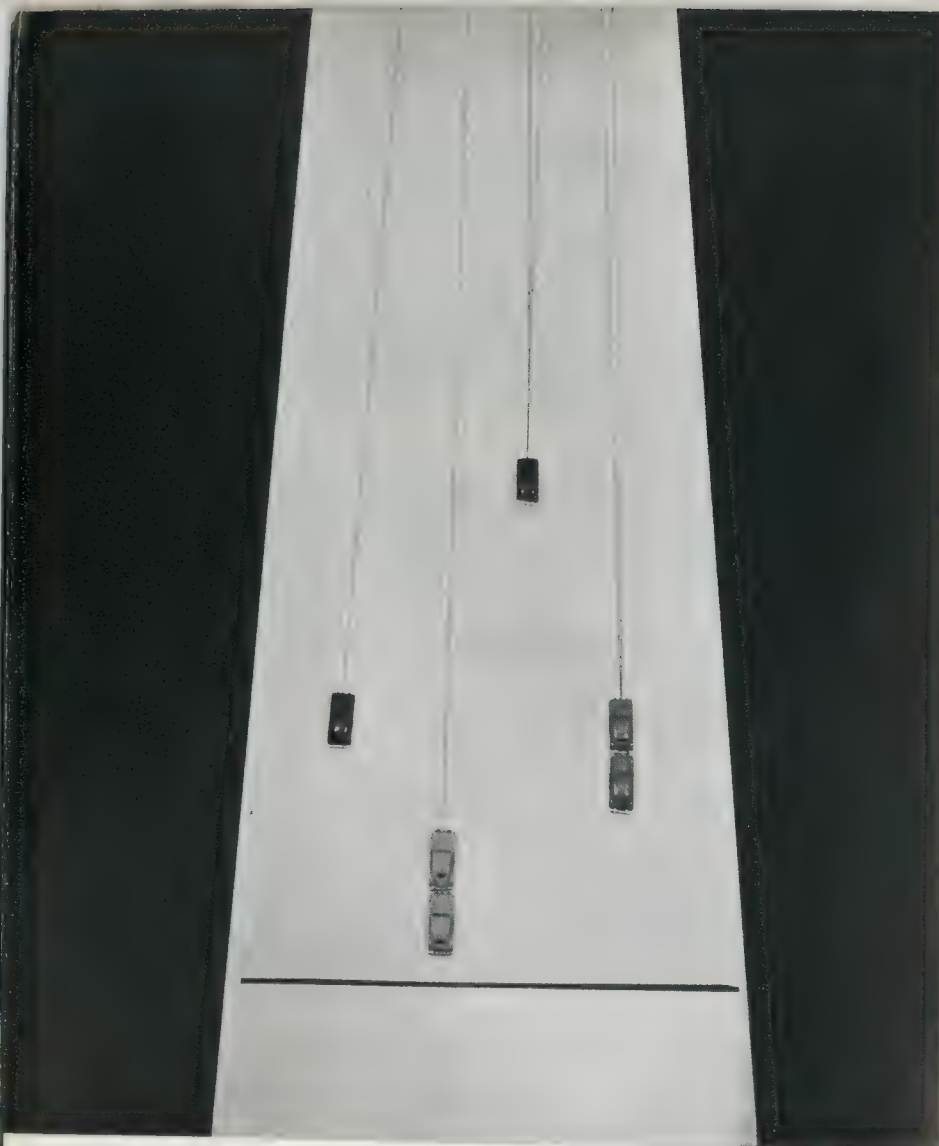
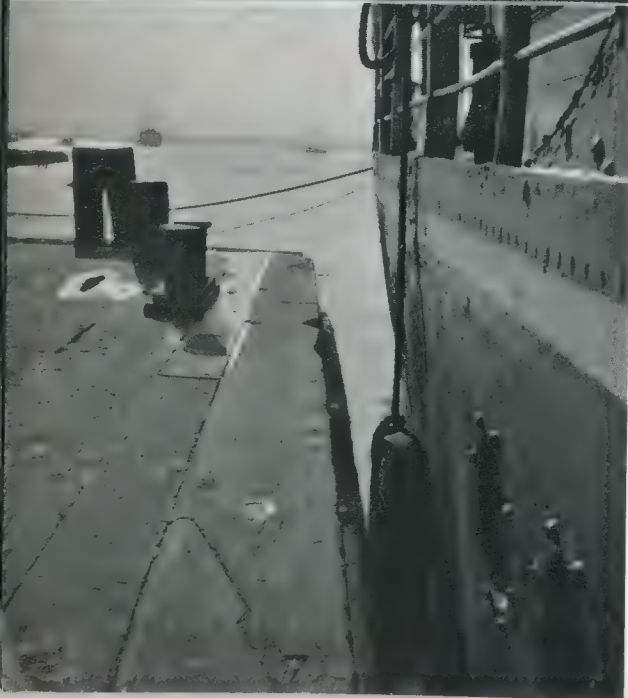
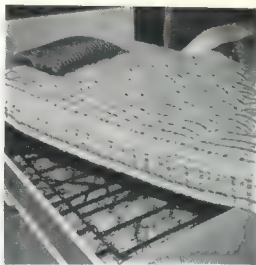
重い荷物を積んだ貨車を駅員が押し動かしているのは，よく見かける風景である．あの場合も，静止から運動に移ったり，また運動の速さをかえようとする時に，大きい力を要するのであって，いったん動きだしてしまった後は，ほとんど力はいらない．5人がかりでなければ，動きださなかった貨車でも，だんだん勢がついてくれば，3人でも動くようになり，ついには，1人でもよくなる．

力の大小と貨車の動く速さとは関係はない．力の大小は貨車の動く速さを変化させる割合に関係するのであって，急に速くしようとするときほど大きい力が必要である．一度動きだした後は，車の軸のところや線路と車との間の摩擦によってだんだん遅くなろうとするのを補うだけの力を加えてやれば，十分なのである．

静止をつづけようとする慣性にうちかって物体を動かすためには，外から何かの作用を加えてやらなければならない．この作用が物理学上の力である．力は‘静止’あるいは‘運動’の状態に変化をあたえるときだけに必要なのであり，いったん動きだしてしまえば，あとは物体の慣性が自らを処理していく．氷と床との間の摩擦がいかに小さくても，氷の静止の慣性にうちかって動きださせるには，相当の力が必要である．

静止している物体を動かすのも力であるが，運動しているものを止めるのも力である．また，運動しているものの方向や速さを変えるのも，力である．物理学上でいう力とは，要するに慣性に抗するような作用なのである．

野球は，ボールの運動を中心とする力学的なゲームである．ピッチャーは静止しているボールに運動を与えるのだし，野手は運動しているボールを止めるのである．バッターは，ピッチャーから投げられたボールの運動の方向と速さとに，変化を与えている．いずれの場合でも慣性に抗した作用すなわち力が加えられているのである．名手の技術は美しく見える．訓練や勘によってその境地に達するのであろうが，力学的にみても最も合理的な力の使い方をしている．

野球もそうだが，テニスもゴルフも，いやすべての運動競技というものはみな力学的なものである．

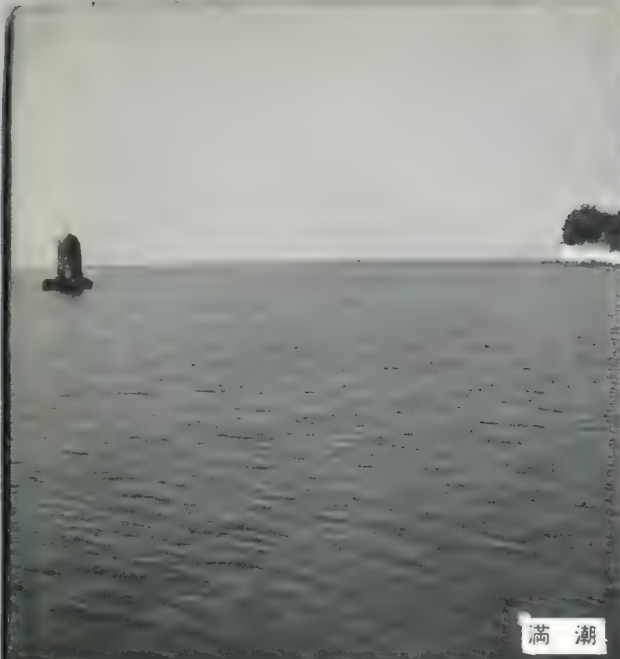
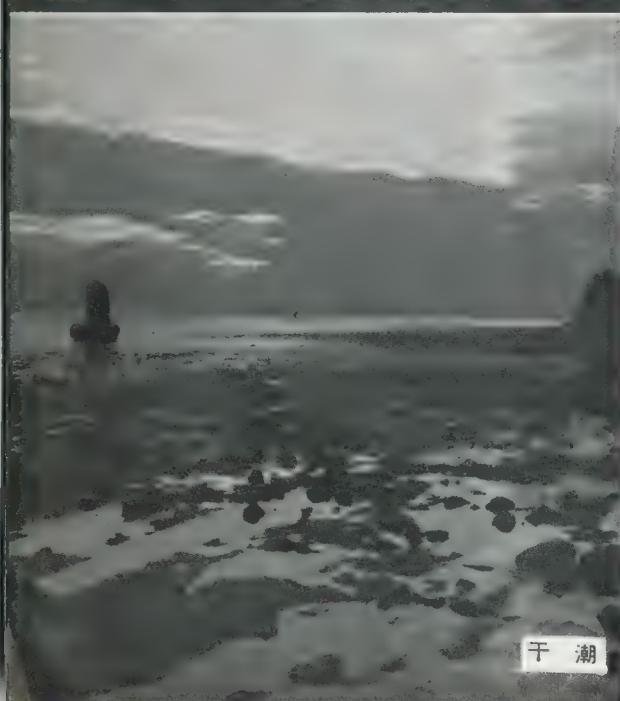
テニスのスマッシングは落ちてくるボールに如何なる力を加えて，どの方向にどの速さで叩いてやるかという技であり，ゴルフは地上に静止しているボールに如何なる力を加えて，どの方向のどこまで飛ばすかという技である．もっとも，すべてボールには回転があって，空氣との間の作用によって，カーブしたり，ドライブがかかったりするから，じつは，ここでいうほど簡單な話ではすまないけれども，それすらも力と慣性との交錯によっておこる現象なのである．

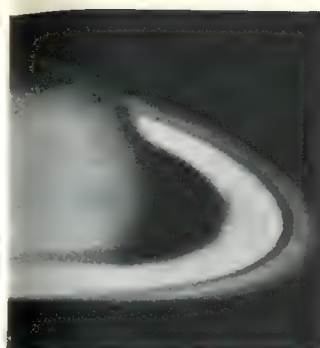
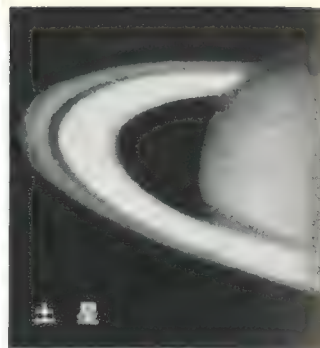
力とは静止しているものを動かし，また運動しているものの方向や速さをかえる作用であることはすでに述べた．さてそれならば力の大小とは何であるかというのが次の問題である．はじに自動車をつけた同じ長さのゴムひもを同じだけのばして離してみる．ある短い時間だけたった後をみると，ゴム2本自動車1台が先頭で，ゴム1本自動車1台と，ゴム2本自動車2台とが同列，ゴム1本自動車2台が最後になっている．

スタート線からの距離は左から順に，1：$^1/_2$：2：1 になっている．ひきのばされたときのゴムひもの力は，1：1：2：2 と考えるのが当然である．自動車の台数は，1：2：1：2 であるから，力は(スタート線からの距離)×(台数)になっている．すなわち力の大小は，それが動かした自動車の台数(質量)と，一定時間内における速度変化(加速度)との積によって，定めることができる．これは力学における根本的な法則の一つである．

大切な物をこわさないようにするには，それに大きな力がかからないようにすること，すなわち大きな速度変化を与えないようにすることが重要である．そのためにはバネ，ふとん，その他の弾性体が使われている．同じ速度変化でも生ずる時間を10倍にのばせば力は $^{1}/_{10}$ になるのであるから，その時間をできるだけのばすということが，安全を計る所以である．緩衝材といわれているものがこれで，寝台のバネ，自動車の前後についているバンパー，汽船と波止場の岸壁との間にあるバンパーなどみなその例である．

速度の変化が大きければ，力が大きいことは，運動の法則を考えてみればすぐわかる．同じ高さから茶碗を落しても，下が固ければわれ，軟かければわれない．前者では茶碗の下端が固い床にあたって急にとめられても，他の部分は慣性によって運動をつづけようとするからその間に強い歪みが生じ，茶碗の強さがそれに耐えられないで，われてしまう．後者ではゆっくりとめられるので，小さい力しか生じないからわれない．

満　潮

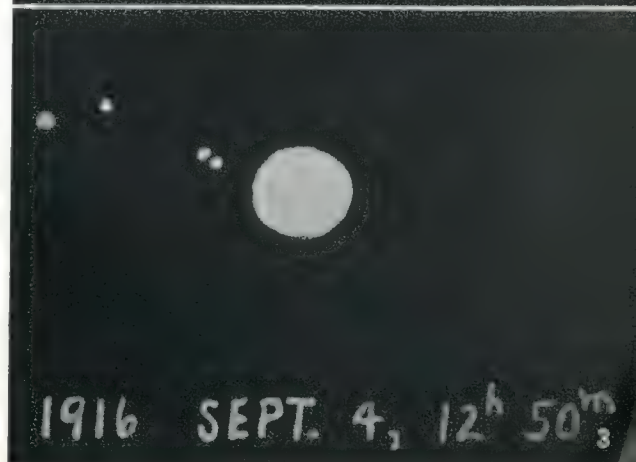
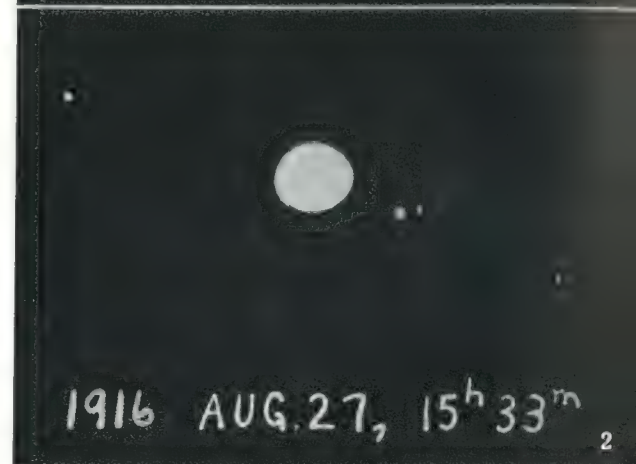
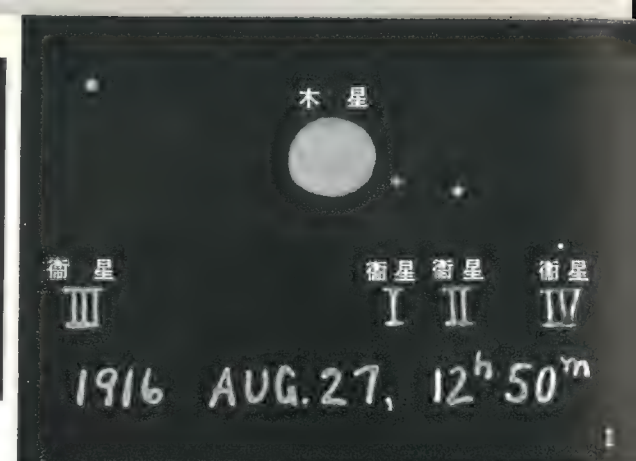
干　潮

土　星

海水の潮汐は，月や太陽の引力によって生ずる現象である．満潮と干潮とでは海水の高さが変化する．その量は海底地形の影響で場所によってちがい，仁川のように 20 mに近いところもあれば，本州の日本海岸のように20〜30 cmにしか達しないところもある．しかしともかくそれだけの海水が月に引かれて，地球の上を移動していくのである．

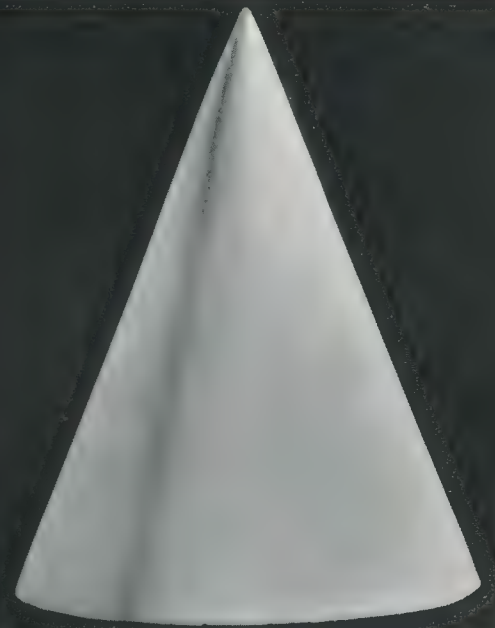
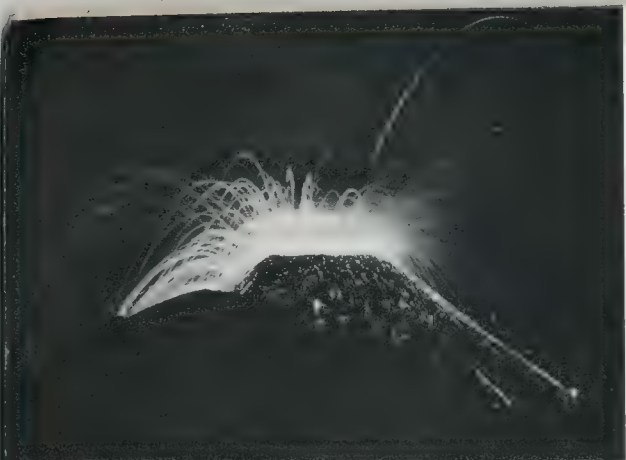
太陽の質量は月にくらべれば 2,700 万倍もあるが，距離が遠いので，潮汐を起す力は月よりは小さい．満月や新月のときには月の影響と太陽の影響とが強めあって潮は大きくなり，上弦や下弦のときには弱めあって潮は小さくなる．月や太陽の引力は海水だけにはたらくのではなく，地球の固い部分も，そのはたらきによってわずかながら変形する．

同じく力といってもそれにはいろいろ原因がある．物体と物体との間には質量に応じて引きあう力がある．それが引力である．

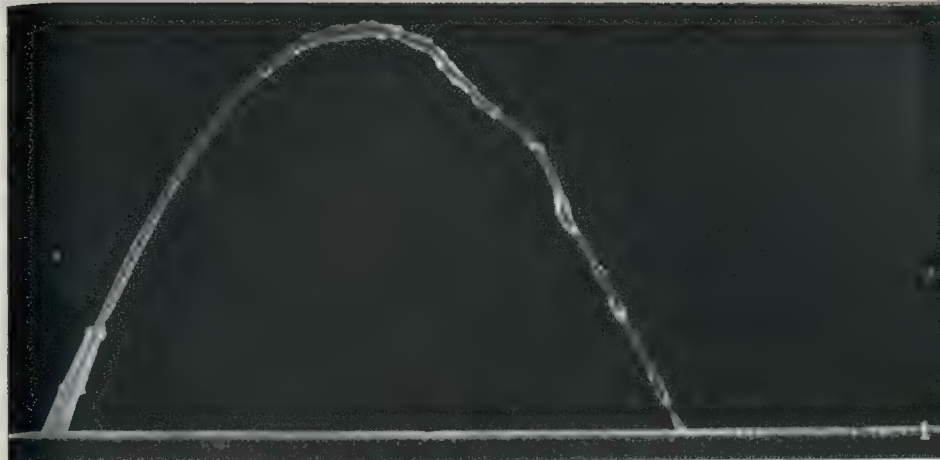
地球が太陽のまわりを公転し，月が地球のまわりを公転するのは，これらの間に引力が働いているからである．プラス・マイナスの電気が引きあう力もあれば，南北の磁極が引きあう力もある．磁界が電流におよぼす力はモーターに利用され，バネの力は，ぜんまいとして時計に利用されている．

物質間の引力は，その間が眞空であろうがなかろうが，それに関係なく遠隔のところまで作用が及ぶのが著しい性質である．木星のまわりを衛星が規則正しく公転するのも土星の輪があのみごとな形をしめすのも，運動と引力との調和の結果である．

放　　物　　体

3）地球上で物体を離せば，下におちていくのはそれと地球との間に引力がはたらいているからである．引力がたえずはたらきつづけているから落下の速さは次第に大きくなり，一定の時間ごとに写した球の位置の間隔はだんだんひろがっていく．

4）2つの球を1つは眞下に，1つは横に落してやっても，同じ高さにそろって落ちていく．横に動く速さのかわらないことは横の位置の間隔が一定であることからわかる．横には一様な速さで動きながら，落下する物体のえがく途が放物線である．

5）球を少し横むきになげてはずませてやるといくつかの放物線をえがく．この場合でも1つ1つの放物線の中では球の横の位置の間隔は一定で，頂上の近くでは上下の速度が小さい．放物線とは円錘(1)を斜に(母線に平行な平面で)切った時あらわれる曲線(2)である．

地上で投げられた物体は放物線の軌道をえがく．それがどういう形になりどの距離までとどくかということは，投げ出される角度によって違う．遠くにとどかせるためには射出の方向は水平に近くても鉛直に近くてもいけない．空氣の抵抗を考えなければ，水平から45°の方向に投げ出されたとき一番遠くにとどく．その距離は，放物線の頂上までの高さの4倍になるホースから出る水の場合にもこれに似た事になる．

火山の噴火のとき，火口からとびだした白熱の熔岩のえがく軌道も，線香花火の散り菊のえがく軌道もすべて放物線である．

とびこみ台からとびこんだ選手は，空中で手足をのばしたりちぢめたりして，身体の形をかえている．また身体全体も回転している．しかしそのような変化にもかかわらず，重心の運動だけに着目すると，それは放物線をえがいている．

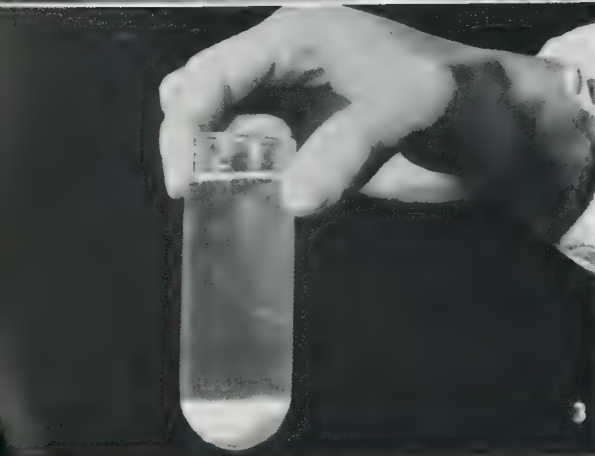
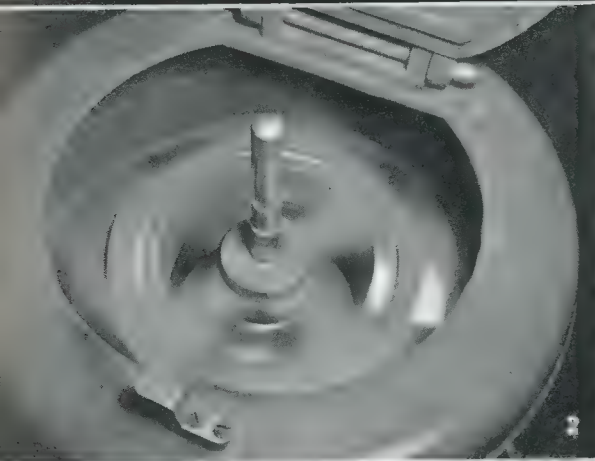
遠　心　力

メリーゴーラウンドにぶら下っている子供たちの手は円に沿って動くのに，からだは接線の方向に動きつづけようとする．だから，手に力を入れて，身体を，中へ中へとひっぱってやらなければならない．しかし，子供たちはそうは感じないで，外向きの力が自分にはたらき，ふりとばされそうになるのに抗して手でがんばっていると感じている．

子供の感ずるこの力が遠心力である．飛行機塔の飛行機にのっていても同じことである．のっている人の運動の方向は，たえず変わっているのだから，力を受けているわけであるが，その人には椅子のささえの力と，重力と，遠心力とが，うまくはたらいて，それらが打消しあい，つりあっていると感じているのである．

物体が円形をえがいて運動しているときには，つねに中心にむかった力がはたらいていて，その運動の方向が時々刻々，中心の方へ中心の方へと，変わっているのである．しかし，この運動している系に固定している人は，そうは感じないで，何か自分には円の外の方にむかう力がはたらいていて，ふりとばされようとしているように感ずる．この見かけの力が遠心力である．自転車でカーブをきる人にとっては，外側にむいた遠心力がはたらいて倒れそうになるから，それを防ぐために，自転車を内側に傾ける．

遠心力は外部からみると見かけの力であるけれども，円形に動いている系からみると，実際にそういう力があるのと同じことである．雨にぬれた傘をぐるぐるまわすと，水滴が接線の方向に散る様子は11頁の写眞によく現われているが，カメラを傘の柄に固定して写してみるとこんな写眞になる．傘と一緒にまわっている系から見れば，水滴はたしかに，遠くへふりとばされているのである．

水を入れたバケツをふりまわすと，バケツが下向きになっているところでも，水はおちてこない．外部から見れば，水は接線の方向に運動をつづけようとしているから落ちて來ないのだというわけであるが，水からいえば遠心力によってふりまわされ，バケツの底をおしているからだといえる．

遠心力を利用して，液の中の成分をはやく沈澱させるのが，遠心分離器である．速いのになると毎分30,000回転というものもある．そんな速さになると，遠心力は非常に大きくて，地上の重力の10,000倍もの力がはたらいているのと同じことになるから，液の中にあった沈澱は，はやく分離されてしまう．しかしこんなに速い回転になると円周におけるはやさは毎秒300mくらいの大きなものになるから，危險もともなうわけで，周囲は十分厚い壁によっておおっておかなければならない．

回転の速度が2倍，3倍とますと，遠心力はその自乗に比例して4倍，9倍と増す．これからは速度をますます大きくするように進歩するであろう．遠心分離器は，洗濯物の乾燥にも利用されている．

一つの物体に，二つ以上の力がはたらいていても，それらがうまく打消しあって，全体として，あたかも力がはたらいていないのと同じことになる場合がある．この場合にそれらの力はつりあっているという．土瓶のあらゆる部分には，地球の重力がはたらいているのだが，その全体と，口にくわえた棒から受ける力とがつりあって，あたかも土瓶には何の力もはたらいていないように見える．そのこまかい調節が技である．

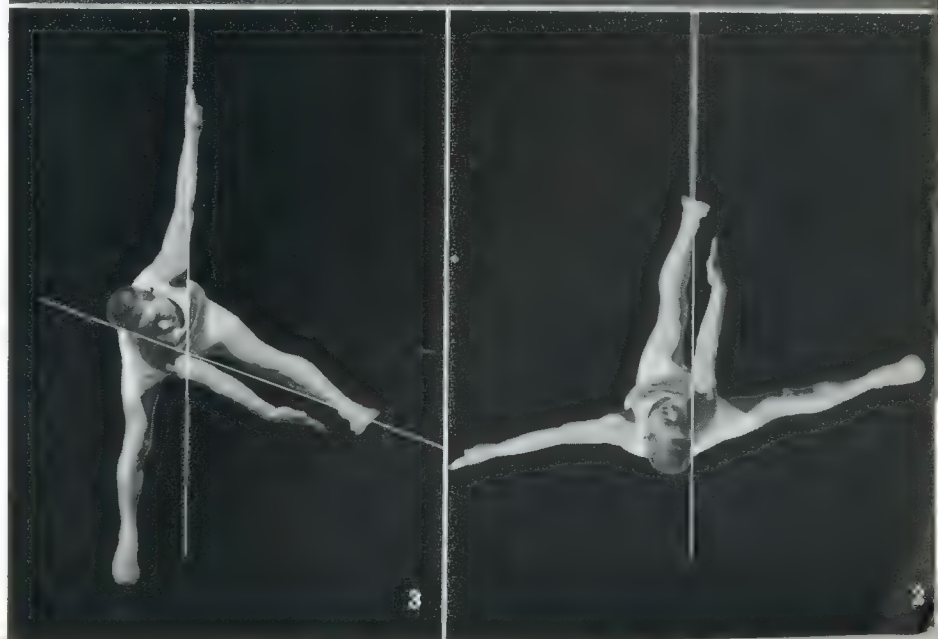
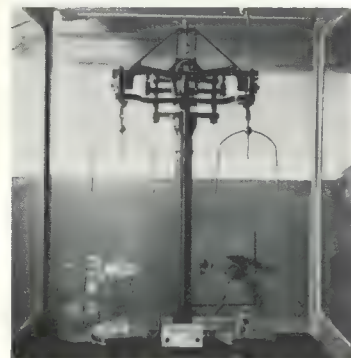
力のつりあい

サギが一本足で立っているのも，つりあいである．サギのあらゆる部分にはたらいている重力と，地面から受ける力とがつりあっているのである．指さきにのせた弥次郎兵衛も，やはりつりあっている．ただこの二つのつりあいには，少しちがった点がある．サギを横から押した場合に，このままの形をつづけているならば，倒れてしまう．しかし弥次郎兵衛の方は，横から押しても，はなせばまたもとの位置にもどる．

同じくつりあっているといっても，横からそれに攪乱を与えた場合に，それがどんどん進行していくようなつりあいと，与えられた攪乱によってかえって，もとにもどる能力の発生するつりあいとがある．前のようなつりあいを不安定，後のようなつりあいを安定という．

狭い平均台の上にみごとな姿勢でつりあいを保っている．身体のあらゆる部分に重力がはたらいているのだが，つりあいを論ずる上には，重心と称する一つの点に身体全体の質量が集まっていると考えても全く同等である．

からだの形をきりぬいて糸で下げてみれば，重心は支点の眞下にくる(2)．従って二つのちがった点でささえてそれぞれ支点を通る鉛直線をひいた時それらが交るところが重心である(3)．こうして求めた重心からおろした鉛直線は，ちょうど足を通っている(1)．すなわち重心にはたらく重力と足が台から受ける力とが一直線上にむかいあってつりあっているのである．逆立ちの場合は，重心を通る鉛直線は両手の中間を通過し，一方の手は体重の半分をささえている．

‘さおばかり’では三つの力がつりあっている．荷にはたらく下向きの力Aと，おもりにはたらく下向きの力Bと，手が支える上向きの力Cとである．つりあっているときは，$A+B=C$，$A\times a=B\times b$ という二つの関係がなり立っている．いいかえればA，Bという二つの下向きの力がはたらいていることは，C′という一つの力が下向きにはたらいているのと同等であり，それが上向きの力Cとつりあっているとみてよい．

1）天秤棒で荷をかつぐとき，前後の荷が同じならば中央を肩で支える．肩には2俵分の目方がかかる．2）前が2俵で後が1俵なら，前から $^1/_3$ のところをかつがなければつりあわない．肩には3俵分の目方がかかる．3）2人でかつぐとき，荷を中央に下げるなら肩にかかる目方も公平に1俵ずつになる．4）荷を後によせれば，後の人の肩にかかる目方の方が大きくなる．肩にかかる目方は，肩から荷を下げてある点までの距離に反比例する．例えばその距離が2:1なら，前の人には $^2/_3$ 俵，後の人には $^4/_3$ 俵の目方がかかる．精密な化学天秤も正しく中央を支えた天秤棒にほかならない．

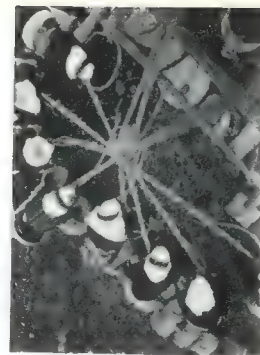
下向きの力二つと，上向きの力一つでつりあっているのが，天秤棒である．両方の荷の目方の和だけの力が，肩に加えられているのであるが，一方の荷を極端に軽くしてやれば，肩の力はほとんど一方の荷の目方だけになり，軽い方の荷を非常に遠いところにかけなければつりあわないことになる．もし肩の力と一方の荷の目方とが完全に等しいなら軽い方の荷というのは実は0になってしまい，そこにあるものは，大きさが等しく，方向の反対な，二つの力だけになってしまう．この一組の力が偶力である．

偶力というのは，大きさが等しく，方向の反対な一組の力，いわばそれとつりあわすべき第三の力の存在しないものである．

そのことは二つの力の中央を軸とした回転運動としてあらわれてくる．タオルをしぼるのも，ハンドルを動かすのも，ネジをまくのも，すべて偶力のはたらきである．一つの力と偶力とをつりあわせることは不可能であって，偶力とつりあわせるには，やはり偶力をもって来なければならない．

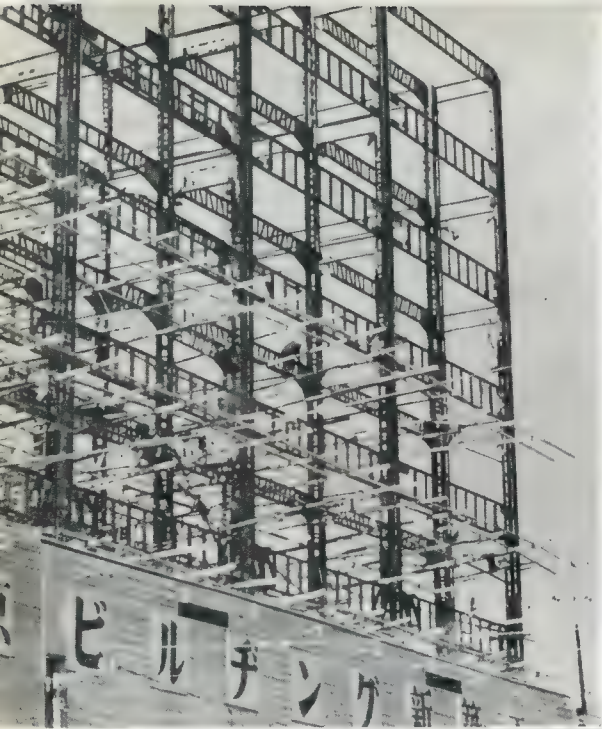
二つの力の方向の角度が開いてくればくるほど平行四辺形の対角線は短くなり，合力は小さくなる.

二人で二つの荷物を持つ場合には，二人の力をなるべく平行に近くした方が樂である．完全に平行なら，めいめいは，荷物の目方の半分だけの力をだせば，よいことになる．これに反して横からひっぱるようにして持ってその二つの力の合力が荷物の目方とつりあうようにするためには，ずっと，大きい力をださなければならないことになる．

A, B, C という平行でない三つの力がつりあっている場合には，A と B との二つの力があるということと，C と大きさが同じで方向の反対な力が一つあることとが同等であるにちがいない．二つ以上の力があるのと全く同等な一つの力，すなわち合力を求めることを，力の合成という．二つの力の方向と大きさを矢であらわして，それを二辺とする平行四辺形の対角線を求めれば，それが合力の方向と大きさとをあたえる．

三つ以上の力が合成される場合でも，一つずつ平行四辺形の規則に従って加えていけばよいのであるから，二つの力の合成と，全く同じことである.

よいとまけや地曳網などは大勢の力をうまく使っている例であるといってよいだろう．電車の架空線はたくみにはられているが，あれもおのおのの節点で，いくつかの力がつりあっているのである．サンフランシスコ湾にかかっている，ゴールデンゲート橋は，世界で最大の吊橋であるが，無理のないつりあいをたもっている形は，目にも美しい.

たくさんの力がはたらいて，或る条件の下で全体として安全なつりあいを保っていたとしても，条件が変るとそのつりあいが破れることがある．地震によって建物がこわれるというのは，ふだんははたらいていなかった力がこれにはたらいて，それをも含めた上でのつりあいを保ちえなくなるからである．クモの巣の糸は，1本1本がよくはたらいてつりあいを保っているのだから，どの1本が切れてもだめになってしまう．

一つの物体があって，その質量に対して小さい力が非常にたくさんそれにはたらいている場合には，全体としてだいたいつりあっているとしても，合力にわずかな消長があると，その結果として，物体は，つりあいの位置を中心としてそのまわりをゆらぎ動く．水にうかべたきわめて小さい粉が水の分子衝突によってゆらぎ動くのは，ブラウン運動として知られているが‘おみこし’の運動もこれに似ているといえるであろう．

たくさんの力が三次元的にくみあわさって，しかも全体としてつりあうということになると，条件はますます繁雑になってくる．しかしできた形はいかにも安定であって無駄も無理もない．しかもそれが安定なつりあいであるためには，各部分に小さい擾乱を与えてみたとした時，それによってもとにもどるような力が生ずるようになっていなければならないのである．

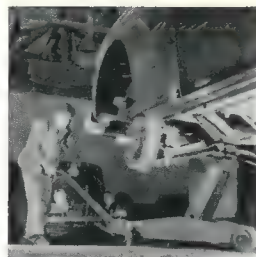
力を最も合理的に利用して，有効な仕事をするために心得ておくべき第一に大切なことは，ある事を行うのに，いろいろな機械や方法によって，小さい力ですませることはできるけれども，仕事の量をへらすことは絶対にできないということである．ここで仕事というのは，力の大きさと，その方向に動く距離との積である．何かの方法で力を半分にすることができても，その方向に動く距離は2倍になってしまうのである．

→ そのよい例がチェインブロックである．くさりをひくと歯車がまわって重い荷が上るようになっている．歯車の仕かけでくさりをひく力は小さくてもよいようになっているけれども，くさりをたくさん動かしても荷は少ししか上らない．同じだけ荷を上げるのに，くさりをたくさん動かさなければならないようになっているものほど，小さい力で動くのである．しかし結局（力×距離）においては少しの得にもならない．

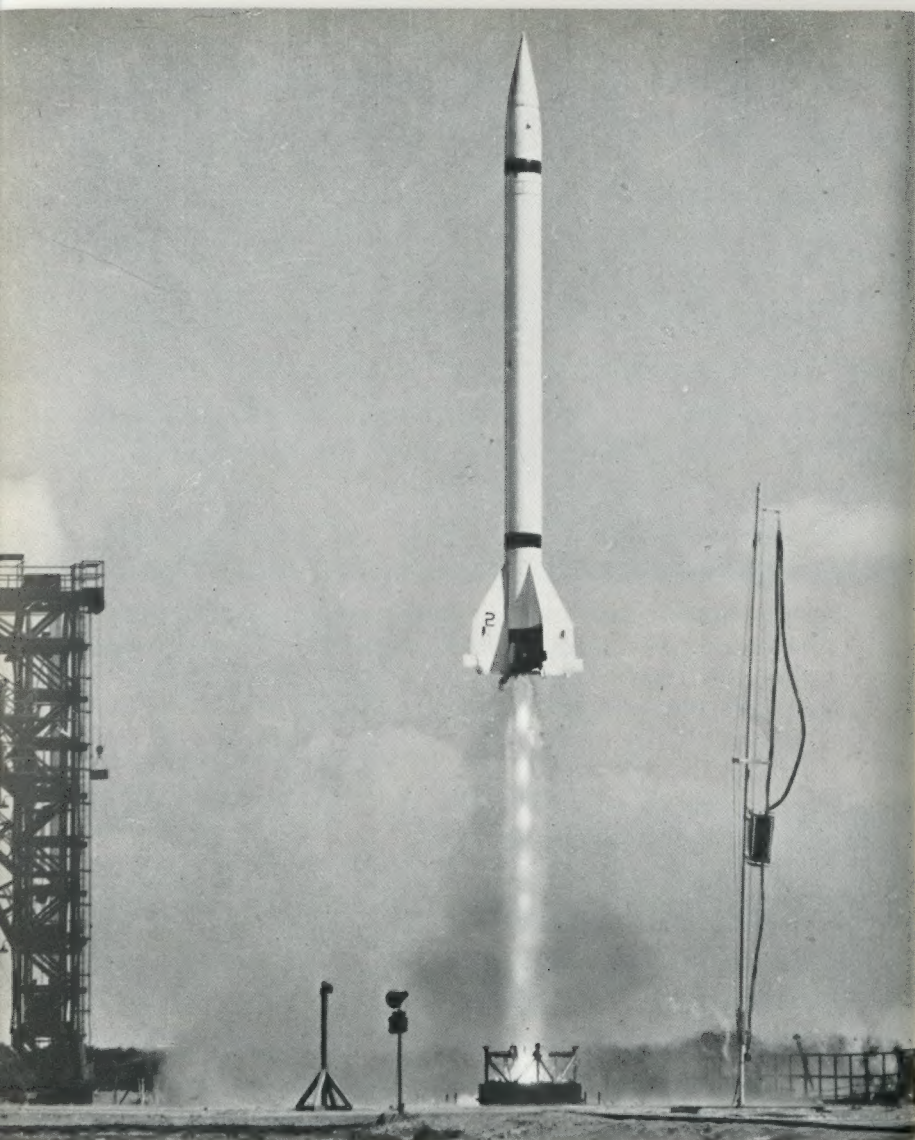
← ボートを吊っている滑車についても全く同じである．山へ登るのに勾配のゆるい途をえらんで，力を倹約しても，同じ高さまでのぼるための距離はそれだけ長くなって（力×距離）すなわち仕事においては倹約にならない．

いくら道具を使っても仕事は決して得にならない．しかし力が小さくてすむようにできるということは，われわれにとって都合のよいことである．‘てこ’というのは，このために使われる道具である．‘てこ’の長い方の腕と短い方の腕との比が 5:1 であるなら，長い方の端を 5 だけ動かしても短い方の端は 1 だけ動くにすぎない．しかしそのことは長い方の端に与える力の 5 倍が，短い方の先にあらわれることを意味する．

植木鋏も‘てこ’の原理を利用したもので，固い枝をたやすく切ることができる．‘てこ’は一直線の棒とは限らない．釘ぬきの曲り角から釘のところまでが短い方の腕，手のところまでが長い方の腕である．

‘てこ’の原理を応用した道具はいろいろある．街を歩き，また日常身辺を見廻してみれば，実にたくさん見出すことができよう．前にものべたとおり，いくら‘てこ’を使って力を得しても，距離が長くなって仕事は得にはならない．これを裏からいえば，大きい力のかかる方の端が，少ししか動かなくてもよいようなものに対して‘てこ’は，その威力を発揮するということになる．ジャッキもそのようなものの一つである．

‘てこ’の，大きい力のかかる方のはしが，やはり相当の距離を動かなければならない，ということになると，小さい力のかかる方のはしは，それよりもずっと長い距離を動かなければならなくなる．

←船のまきあげにしても何回も，ぐるぐるとまわしてやらなければならない．

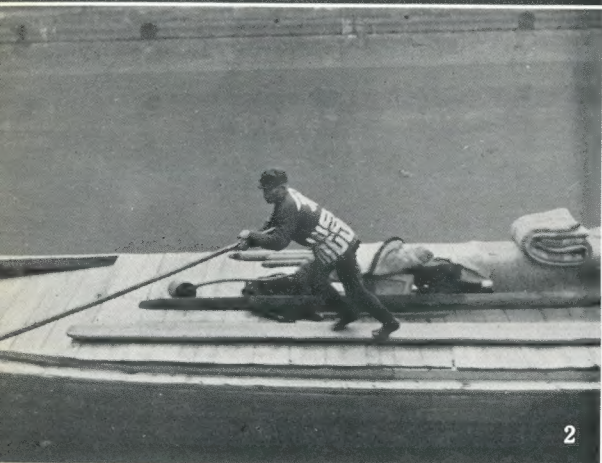
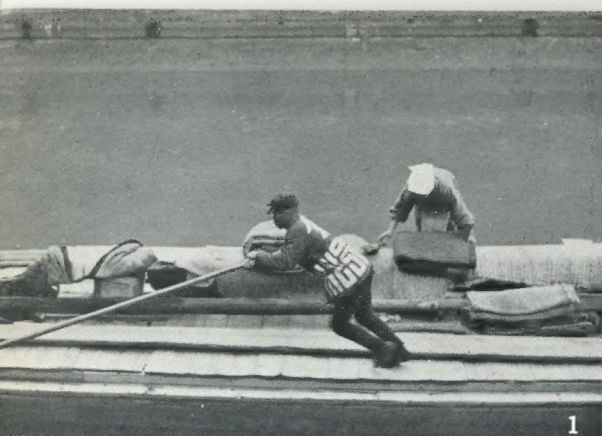
←シーソーで，大人と子供とが一緒に遊べるというのも，‘てこ’のおかげである．子供の方は，大きく上下するけれども，大人の方は少ししかしない．

ロケットの機体は排気ガスから，排気ガスは機体から力を受けて，それぞれ運動をつづけるが，機体と排気ガスとを一まとめにした全体としてみれば，それには外からは重力による仕事が与えられているだけである．だから全体としての重心は，自由な落下運動をつづけている．実際には周囲の空気がその運動に関与してくるから話はもっと複雑であるけれども，重心の運動と機体だけの運動とは，区別しなければならない．

船から人がとび上ったとき，船は人から人は船から力を受けて，それぞれ動きだすのである．しかし人と船とを一まとめにしてみれば，その全体には外から仕事は加えられていないのだから，はじめ止まっていた以上，全体の重心はいつまでも止まっている．人は左に船は右に動いても全体の重心は動かない．これは静止の慣性である．左から走って来て船にとびこむ場合でも，やはり，外から力は働いていないのだから，人と船とを一まとめにした重心の進行速度には，変化はない．4枚の写真は同じ時間間隔で写してある．(3)と(4)との間の動きが重心の進行を示しているが，(1)と(2)の間でも全体の重心は，これと同じ速さで動いていたのである．これは運動の慣性だといってよい．

お わ り に

1

2

3

船頭は船を前の方に押しているのだと，思っているだろうが，船の上でみれば，船頭は後の方に歩いていっているのである．これを岸からみてみれば船頭は，一ヵ所で足踏みしているにすぎない．大切なことは，船頭の主張する力学と，乗組の主張する力学と，地面に立ってこれを眺めている者の力学との関係である．たがいに一様な速さで運動しているかぎり，これらの力学の形式は，まったくおなじで，同格である．

力学は力と運動との交渉を論ずる．しかし運動といい静止といっても，それは要するに相対的なものであるにすぎない．地面に立ってみれば電車は速く走っていくが，電車に乗ってみれば地面の方が逆の方へ走っていく．外から何等かの作用のないかぎり静止しているものは静止をつづけ，運動しているものは，同じ方向に同じ速さで運動をつづけようとするという慣性の法則は，地面の上でも，一様な速さで走っているかぎり電車の中でも，同等になりたつのであって，この意味では両者は全く同格である．

岩波写真文庫目録

既刊

1 木綿
2 昆虫
3 南氷洋の捕鯨
4 魚の市場
5 アメリカ人
6 アメリカ
7 雪の結晶
8 写真
9 レンズ
10 紙
11 蝶の一生
12 鎌倉
13 心と顔
14 動物園のけもの
15 富士山
16 積雪
17 いかるがの里
18 鉄
19 川—隅田川—
20 雲
21 汽車
22 動物園の鳥
23 様式の歴史
24 銅山
25 スイス
26 スキー
27 京都—歴史的にみた—
28 力と運動
29 アメリカの農業
30 アルプス
31 山の鳥
32 奈良の大佛
33 尾瀬
34 電話
35 野球の科学
36 星と宇宙
37 蚊の観察
38 長崎
39 高野山
40 正倉院(一)
41 彫刻
42 佛像
43 化学繊維
44 蛔虫
45 野の花—春—
46 金印の出た土地
47 東京—大都会の顔—
48 馬
49 石炭
50 桂離宮と修学院
51 日光
52 醤油
53 文楽
54 水辺の鳥
55 米
56 正倉院(二)
57 石油
58 千代田城
59 歌舞伎
60 高山の花
61 波
62 京都御所と二条城
63 赤ちゃん
64 オーストラリア
65 ソヴェト連邦
66 能
67 造船
68 東京案内
69 平泉
70 手術
71 宮島
72 広島
73 佐渡
74 比叡山
75 阿蘇
76 信貴山縁起絵巻
77 針葉樹
78 近代芸術
79 日本の民家
80 季節の魚
81 シャボテン
82 新劇
83 郵便切手
84 かいこの村
85 伊豆の漁村
86 奈良—東部—
87 奈良—西部—
88 ヒマラヤ
89 上高地
90 電力
91 松江
92 動物の表情
93 金沢
94 自動車の話
95 薬師寺・唐招提寺
96 日本の人形
97 システィナ礼拝堂
98 美人画
99 日本の貝殻
100 本の話
101 戦争と日本人
102 佐世保
103 ミケランジェロ
104 空からみた大阪
105 宗達
106 飛騨・高山
107 ゴッホ
108 京都案内—洛中—
109 京都案内—洛外—
110 寫楽
111 熊
112 東京湾
113 汽車の窓から—東海道—
114 地図の知識
115 姫路
116 硫黄の話
117 伊勢
118 はきもの
119 隠岐
120 源氏物語絵巻
121 農村の婦人
122 出雲
123 アルミニウム
124 水害と日本人
125 日本のやきもの
126 貝の生態
127 イスラエル
128 伴大納言絵詞
129 瀬戸内海
130 飛鳥
131 聖母マリア
132 日本の映画
133 能登
134 山形県
135 福沢諭吉
136 利根川
137 鹿児島県
138 伊豆半島
139 日本の森林
140 高知県
141 チェーホフ
142 佛教美術
143 一年生
144 長野県
145 塩原
146 日本の庭園
147 木曽
148 忘れられた島
149 近東の旅
150 和歌山県
151 函館
152 豆
153 大分県
154 死都ポンペイ
155 富士をめぐる
156 神奈川県
157 柔道
158 戦争と平和
159 ソ連・中国の旅
160 伊豆の大島
161 ジョットー
162 熊野路
163 鳥獣戯画
164 愛媛県
165 やきものの町
166 冬の登山
167 埼玉県
168 男鹿半島
169 フランス古寺巡礼
170 滋賀県

新刊

171 白浜　172 東京国立博物館　173 千葉県　175 細胞の知識　176 四国遍路

近刊 箱根　村の一年—秋田—　セザンヌ　石川県—新風土記—

B6判 64頁 写真平均 約200枚 定価 各100円

カーブした線路を走る長い貨物列車，はりめぐらされた電線，それを支える柱，すべてこれ力学の世界である．